

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-229081

(P2002-229081A)

(43)公開日 平成14年8月14日(2002.8.14)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード*(参考)
G 0 2 F 1/35		G 0 2 F 1/35	2 K 0 0 2
H 0 1 S 5/50	6 3 0	H 0 1 S 5/50	6 3 0 5 F 0 7 3
H 0 4 B 10/17		H 0 4 B 9/00	J 5 K 0 0 2
10/16			B
10/00			

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願2001-27478(P2001-27478)

(22)出願日 平成13年2月2日(2001.2.2)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成12年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「フェムト秒テクノロジーの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 上野 芳康

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100095706

弁理士 泉 克文

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB13 AB31 BA02 BA08

CA13 DA11 HA16

5F073 AB22 BA03

5K002 AA06 BA02 CA02 CA12 CA13

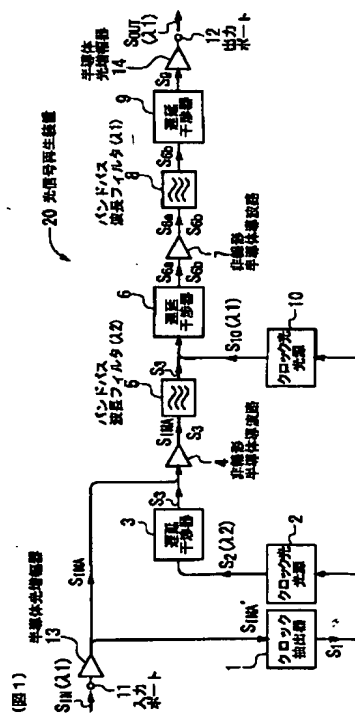
DA07

(54)【発明の名称】 全光型光信号再生方法および装置

(57)【要約】

【課題】 半導体光増幅器の注入電流を増加せず、入力パルス光に与える非線形位相シフトの大きさが $\pi$ に達しなくても、光信号に対して所望の強度雑音抑制作用を発揮できるようにする。

【解決手段】 遅延干渉器3の出力パルス光 $S_3$ を非線形半導体導波路4で位相シフトさせてから、クロックパルス光 $S_{10}$ と共に遅延干渉器6に入射する。遅延干渉器6で、出力パルス光 $S_3$ から干渉パルス光 $S_{6a}$ を生成すると共に、クロックパルス光 $S_{10}$ から入力パルス光 $S_{IN}$ とは逆論理の干渉パルス光 $S_{6b}$ を生成する。その干渉パルス光 $S_{6a}$ により非線形半導体導波路7で干渉パルス光 $S_{6b}$ を位相シフトさせてから、遅延干渉器9に送る。遅延干渉器9で干渉パルス光 $S_{6b}$ から入力パルス光 $S_{IN}$ と同論理の干渉パルス光 $S_9$ を生成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (a) 第 1 波長の入力信号パルス光を第 1 非線形半導体導波手段に入射してその第 1 非線形半導体導波手段内に非線形の屈折率変化を惹起し、

(b) 前記入力信号パルス光よりクロックを抽出して、前記第 1 波長とは異なる第 2 波長の第 1 クロックパルス光と、前記第 1 波長の第 2 クロックパルス光とを生成し、

(c) 前記第 1 クロックパルス光を二つの成分に分岐し、得られた二つの成分の一方を第 1 遅延時間遅延させた後、それら二つの成分を含む前記第 2 波長の第 1 出力パルス光を生成し、

(d) 前記第 1 出力パルス光を前記第 1 非線形半導体導波手段に入射し、前記入力信号パルス光によって惹起された前記屈折率変化を利用して、その第 1 出力パルス光に非線形の位相シフトを与え、

(e) 位相シフトが与えられた前記第 2 波長の前記第 1 出力パルス光と、前記第 1 波長の前記第 2 クロックパルス光とを第 1 遅延干渉手段に入力し、もって前記第 1 出力パルス光から前記入力信号パルス光とは論理状態が反転した前記第 2 波長の第 2 出力パルス光を生成すると共に、前記第 2 クロックパルス光から前記第 1 波長の第 3 出力パルス光とを生成し、

(f) 前記第 2 波長の前記第 2 出力パルス光を第 2 非線形半導体導波手段に入射してその第 2 非線形半導体導波手段内に非線形の屈折率変化を惹起し、

(g) 前記第 1 波長の第 3 出力パルス光を前記第 2 非線形半導体導波手段に入射し、前記第 2 出力パルス光によって惹起された前記第 2 非線形半導体導波手段の前記屈折率変化を利用して、その第 3 出力パルス光に非線形の位相シフトを与え、

(h) 位相シフトが与えられた前記第 1 波長の前記第 3 出力パルス光を第 2 遅延干渉手段に入力し、もって前記入力信号パルス光と論理状態が同じである前記第 1 波長の第 4 出力パルス光を生成し、

(i) 前記第 4 出力パルス光を用いて再生信号パルス光を生成する全光型光信号再生方法。

【請求項 2】 前記入力信号パルス光を前記第 1 非線形半導体導波手段に入射するタイミングを、前記第 1 遅延時間ずれた前記第 1 出力パルス光の二つの前記成分のパルス間に位置するように設定する請求項 1 に記載の全光型光信号再生方法。

【請求項 3】 前記第 1 遅延干渉手段では、位相シフトが与えられた前記第 2 波長の前記第 1 出力パルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第 1 遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第 2 出力パルス光を生成し、また、前記第 1 波長の前記第 2 クロックパルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に前記第 1 遅延時間を与えてから結合することに

より、それら二つの成分を含む前記第 3 出力パルス光を生成し、

前記第 2 遅延干渉手段では、位相シフトが与えられた前記第 1 波長の前記第 3 出力パルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第 2 遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第 4 出力パルス光を生成する請求項 1 または 2 に記載の全光型光信号再生方法。

【請求項 4】 前記第 1 非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記入力信号パルス光を、前記第 1 遅延干渉手段に入射する前に第 1 波長フィルタで除去する請求項 1～3 のいずれかに記載の全光型光信号再生方法。

【請求項 5】 前記第 2 非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記第 2 出力パルス光を、前記第 2 遅延干渉手段に入射する前に第 2 波長フィルタにより除去する請求項 1～4 のいずれかに記載の全光型光信号再生方法。

【請求項 6】 前記第 1 非線形半導体導波手段および前記第 2 非線形半導体導波手段の少なくとも一方として、半導体光増幅器を使用する請求項 1～5 のいずれかに記載の全光型光信号再生方法。

【請求項 7】 前記第 1 非線形半導体導波手段および前記第 2 非線形半導体導波手段の少なくとも一方として、光吸収型半導体導波路を使用する請求項 1～5 のいずれかに記載の全光型光信号再生方法。

【請求項 8】 (a) 第 1 波長の入力信号パルス光よりクロックを抽出して、前記第 1 波長とは異なる第 2 波長の第 1 クロックパルス光と、前記第 1 波長の第 2 クロックパルス光とをそれぞれ生成する第 1 および第 2 のクロック光生成手段と、

(b) 前記第 1 クロックパルス光を二つの成分に分岐し、得られた二つの成分の一方を第 1 遅延時間遅延させた後、それら二つの成分を含む前記第 2 波長の第 1 出力パルス光を生成する第 1 出力パルス光生成手段と、

(c) 前記入力信号パルス光を受けて惹起せしめられる非線形の屈折率変化を利用して、前記第 1 出力パルス光に非線形の位相シフトを与える第 1 非線形半導体導波手段と、

(d) 位相シフトが与えられた前記第 2 波長の前記第 1 出力パルス光と、前記第 1 波長の前記第 2 クロックパルス光とを入力し、もって前記第 1 出力パルス光から前記入力信号パルス光とは論理状態が反転した前記第 2 波長の第 2 出力パルス光を生成すると共に、前記第 2 クロックパルス光から前記第 1 波長の第 3 出力パルス光とを生成する第 1 遅延干渉手段と、

(e) 前記第 2 波長の前記第 2 出力パルス光を受けて惹起せしめられる非線形の屈折率変化を利用して、前記第 1 波長の前記第 3 出力パルス光に非線形の位相シフトを与える第 2 非線形半導体導波手段と、

(f) 位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第3出力パルス光を入力し、もって前記入力信号パルス光と論理状態が同じである前記第1波長の第4出力パルス光を生成する第2遅延干渉手段とを備え、前記第4干渉パルス光を用いて再生信号パルス光が生成される全光型光信号再生装置。

【請求項9】 前記入力信号パルス光を前記第1非線形半導体導波手段に入射するタイミングを、前記第1遅延時間ずれた前記第1出力パルス光の二つの前記成分のパルスの間に位置するように設定する請求項8に記載の全光型光信号再生装置。

【請求項10】 前記第1遅延干渉手段は、位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1出力パルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第2出力パルス光を生成し、また、前記第1波長の前記第2クロックパルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に前記第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を含む前記第3出力パルス光を生成し、

前記第2遅延干渉手段は、位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第3出力パルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第2遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第4出力パルス光を生成する請求項8または9に記載の全光型光信号再生装置。

【請求項11】 前記第1非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記入力信号パルス光を、前記第1遅延干渉手段に入射する前に除去する第1波長フィルタを備えている請求項8～10のいずれかに記載の全光型光信号再生装置。

【請求項12】 前記第2非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記第2出力パルス光を、前記第2遅延干渉手段に入射する前に除去する第2波長フィルタを備えている請求項8～11のいずれかに記載の全光型光信号再生装置。

【請求項13】 前記第1非線形半導体導波手段および前記第2非線形半導体導波手段の少なくとも一方が、半導体光増幅器により形成される請求項8～12のいずれかに記載の全光型光信号再生装置。

【請求項14】 前記第1非線形半導体導波手段および前記第2非線形半導体導波手段の少なくとも一方が、光吸収型半導体導波路により形成される請求項8～12のいずれかに記載の全光型光信号再生装置。

【請求項15】 (a) 第1波長の入力信号パルス光を第1非線形半導体導波手段に入射してその第1非線形半導体導波手段内に非線形の屈折率変化を惹起し、

(b) 前記第1波長とは異なる第2波長の第1連続光を前記第1非線形半導体導波手段に入射し、前記入力信

号パルス光によって惹起された前記屈折率変化を利用してその第1連続光に非線形の位相シフトを与え、

(c) 前記第1波長の前記入力信号パルス光と、位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1連続光とを第1遅延干渉手段に入射し、もって前記入力信号パルス光とは論理状態が反転した複数のパルス状凹部を有する前記第2波長の歪み連続光を生成し、

(d) 前記第2波長の前記歪み連続光を第2非線形半導体導波手段に入射してその第2非線形半導体導波手段内に非線形の屈折率変化を惹起し、

(e) 前記第1波長の第2連続光を前記第2非線形半導体導波手段に入射し、前記歪み連続光によって惹起された前記屈折率変化を利用してその第2連続光に非線形の位相シフトを与え、

(f) 前記第2波長の前記歪み連続光と、位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第2連続光とを第2遅延干渉手段に入射し、もって前記入力信号パルス光と論理状態が同じである前記第1波長の出力パルス光を生成し、

(g) 前記出力パルス光を用いて再生信号パルス光を生成する全光型光信号再生方法。

【請求項16】 前記第1遅延干渉手段では、位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1連続光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第2波長の前記歪み連続光を生成し、

前記第2遅延干渉手段では、位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第2連続光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第2遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第1波長の前記出力パルス光を生成する請求項15に記載の全光型光信号再生方法。

【請求項17】 前記第1非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記入力パルス光を、前記第2非線形半導体導波手段から出射した後に第1波長フィルタにより除去する請求項15または16に記載の全光型光信号再生方法。

【請求項18】 前記第2非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記歪み連続光を、前記第2遅延干渉手段から出射した後に第2波長フィルタにより除去する請求項15～17のいずれかに記載の全光型光信号再生方法。

【請求項19】 前記第1非線形半導体導波手段および前記第2非線形半導体導波手段の少なくとも一方として、半導体光増幅器を使用する請求項15～18のいずれかに記載の全光型光信号再生方法。

【請求項20】 前記第1非線形半導体導波手段および前記第2非線形半導体導波手段の少なくとも一方として、光吸収型半導体導波路を使用する請求項15～18

10

20

30

40

50

のいずれかに記載の全光型光信号再生方法。

【請求項 2 1】 (a) 第 1 波長の入力信号パルス光を受けて非線形の屈折率変化を惹起する第 1 非線形半導体導波手段と、

(b) 前記第 1 波長とは異なる第 2 波長の第 1 連続光と前記第 1 波長の第 2 連続光をそれぞれ生成する第 1 および第 2 の連続光生成手段と、

(c) 前記第 1 波長の入力信号パルス光と、前記第 1 非線形半導体導波手段で位相シフトが与えられた前記第 2 波長の前記第 1 連続光とを入射し、もって前記入力信号パルス光とは論理状態が反転した複数のパルス状凹部を有する前記第 2 波長の歪み連続光を生成する第 1 遅延干渉手段と、

(d) 前記第 2 波長の前記歪み連続光を受けて非線形の屈折率変化を惹起する第 2 非線形半導体導波手段と、

(e) 前記第 2 波長の前記歪み連続光と、前記第 2 非線形半導体導波手段で位相シフトが与えられた前記第 1 波長の前記第 2 連続光とを入射し、もって前記入力信号パルス光と論理状態が同じである前記第 1 波長の出力パルス光を生成する第 2 遅延干渉手段とを備え、前記出力パルス光を用いて再生信号パルス光が生成される全光型光信号再生装置。

【請求項 2 2】 前記第 1 遅延干渉手段は、位相シフトが与えられた前記第 2 波長の前記第 1 連続光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第 1 遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第 2 波長の前記歪み連続光を生成し、前記第 2 遅延干渉手段は、位相シフトが与えられた前記第 1 波長の前記第 2 連続光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第 2 遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第 1 波長の前記出力パルス光を生成する請求項 2 1 に記載の全光型光信号再生装置。

【請求項 2 3】 前記第 1 非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記入力信号パルス光を、前記第 2 非線形半導体導波手段から出射した後に除去する第 1 波長フィルタを備えている請求項 2 1 または 2 2 に記載の全光型光信号再生装置。

【請求項 2 4】 前記第 2 非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記歪み連続光を、前記第 2 遅延干渉手段から出射した後に除去する第 2 波長フィルタを備えている請求項 2 1 ~ 2 3 のいずれかに記載の全光型光信号再生装置。

【請求項 2 5】 前記第 1 非線形半導体導波手段および前記第 2 非線形半導体導波手段の少なくとも一方が、半導体光増幅器により形成される請求項 2 1 ~ 2 4 のいずれかに記載の全光型光信号再生装置。

【請求項 2 6】 前記第 1 非線形半導体導波手段および前記第 2 非線形半導体導波手段の少なくとも一方が、光吸収型半導体導波路により形成される請求項 2 1 ~ 2

4 のいずれかに記載の全光型光信号再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、デジタル光通信ネットワークにおいて伝送される信号パルス光を中継するために使用する全光型の光信号再生方法と装置に関し、さらに言えば、光通信ネットワークを伝送中に付加される各種の歪みや雑音を除去して、送信端での信号パルス光と同じ波形、同じ強度、同じタイミング（または、送信端での信号パルス光と同じ波形、同じ強度）のパルス光を光信号処理によって再生する全光型の光信号再生方法と装置に関する。

【0002】

【従来の技術】現在の光通信システムでは、光ファイバ増幅器によって信号光パルスの強度を再生する中継方式が一般的に使用されている。その光ファイバ増幅器としては、例えば、エルビウムをドープしたファイバ増幅器（EDFA、Erbium-Doped Fiber Amplifier）が使用される。この方式は、従来の光—電気変換あるいは電気—光変換を行う中継方式とは異なり、光信号のままで情報を伝送できる特徴を持つ。このため、大容量光通信システムに適している。

【0003】しかしながら、光ファイバ増幅器を用いた中継方式では、光ファイバ増幅器内で発生する自然放光（ASE、Amplified Spontaneous Emission）に起因する雑音（以下、ASE 雑音という）が信号パルス光に重畳されていくため、伝送距離に応じて信号対雑音比（S/N、Signal to Noise Ratio）が劣化する、という難点がある。このため伝送距離が制限されてしまう。

【0004】そこで、ASE 雑音に起因する S/N の劣化を抑制するため、「光 3 R 中継」と「光 2 R 中継」と呼ばれる方式が検討されている。

【0005】「光 3 R 中継」とは、送信端と同じ波形、同じ強度、同じタイミングの光パルス光を光信号処理によって再生して送信デジタル信号の中継を行う方式である。この方式は、歪んだ波形を増幅する（信号レベルを高める）「増幅（Reamplifying）」、歪んだ波形を識別に適した波形に成形する「整形（Reshaping）」、増幅・整形された波形に対して正しい識別時点を与えると共に、再生するパルスの時間幅・位相を制御する「タイミング再生（Retiming）」の頭文字をとって「光 3 R 中継」と呼ばれる。

【0006】他方、「光 2 R 中継」とは、送信端と同じ波形、同じ強度の光パルス光を光信号処理によって再生して送信デジタル信号の中継を行う方式である。つまり、「増幅」と「整形」のみを行い、「タイミング再生」を行わない点で「光 3 R 中継」方式と異なる。

【0007】「光 3 R 中継」方式では、光信号パルス列から光クロックを抽出し、光ゲート回路を用いて光信号と光クロックの AND 処理を行うことによって光信号を

再生する。こうして、従来の光-電気変換あるいは電気-光変換を行う中継方式と同様の信号処理を、光信号処理技術によって光のまま高速に行うのである。これに対し、「光2R中継」方式では、光ファイバ増幅器で重畳されるASE雑音を光雑音抑制素子で抑制し、強度とS/Nを元のレベルに戻して中継する。

【0008】このような「光3R中継」や「光2R中継」を実現する全光型の光信号再生装置としては、従来から種々の構成のものが提案されている。

【0009】例えば、中村らは、2000年7月9日～12日にカナダのケベック市で開催されたOAA2000 (Nakamura et al., "Digest of Optical Amplifiers and their Applications", OAA 2000, July 9-12, 2000, Quebec, Canada, PD4-1-4) において、光3R再生装置を提案している。この光3R再生装置は、半導体光増幅器 (Optical Semiconductor Amplifier, OSA) と光干渉計を組み合わせた対称マッハツェンダー型光スイッチを使用したものである。

【0010】ビレスらは、1997年9月22日～25日に英国スコットランドのエジンバラ市で開催された第23回欧州光通信会議の要約において、半導体光増幅器を含むマッハツェンダー型光干渉計を使用した光3R再生装置を提案している (Billes et al., Digest of 23rd European Conference on Optical Communications, EOOC' 97, Sept. 22-25, 1997, Edinburgh, Scotland, Vol. 2, pp. 269-272)。

【0011】フィリップスらは、1998年に発行された「エレクトロニクス・レターズ」第34巻、第24号、第2340頁～第2342頁において、やはり半導体光増幅器と光干渉計を組み合わせた対称マッハツェンダー型の光3R再生装置を提案している (Philips et al., Electronics Letters, Vol. 34, No. 24, pp. 2340-2342, 1998)。

【0012】ケリーらは、1999年8月に発行された「エレクトロニクス・レターズ」第35巻、第17号、第1477頁～第1478頁において、半導体光増幅器と光干渉計を組み合わせた対称マッハツェンダー型の光3R再生装置を提案している (Kelly et al., Electronics Letters, Vol. 35, No. 17, pp. 1477-1478, August 1999)。

【0013】さらに、上野らは、1998年に発行された「IEEE フォトニクス・テクノロジー・レターズ」第10号、第346頁～第348頁において、DISC型波長変換器を提案している (Ueno et al., IEEE Photonics Technology Letters, No. 10, pp. 346-348, 1998)。このDISC型波長変換器は、光2R再生装置として機能するものである。

【0014】ロイトルドらは、2000年7月9日～12日にカナダのケベック市で開催されたOAA2000において、DISC型波長変換器を提案している (Leut

hold et al., "Digest of Optical Amplifiers and their Applications", OAA 2000, July 9-12, 2000, Quebec, Canada, QWB3-1, pp. 186-188)。このDISC型波長変換器も、光2R再生装置として機能する。

#### 【0015】

【発明が解決しようとする課題】 上述した従来の光3R再生装置と光2R再生装置はいずれも、光信号の強度雑音 (例えば、伝送路の中継器に設けられた光ファイバ増幅器によって重畳されるASE雑音) を除去する作用を持っている。しかし、これら従来の装置では、光信号の強度雑音抑制作用を発揮するためには、それら装置の内部に設けられた半導体光増幅器 (SOA) が光信号に与える非線形位相シフトの大きさが $\pi$ に等しくなければならない、という条件がある。

【0016】この点は、例えば、1996年3月に発行された「エレクトロニクス・レターズ」第32巻、第6号、第566頁～第567頁 (Electronics Letters, Vol. 32, No. 6, pp. 566-567, March 1996) と、1998年10月に発行された「IEEE フォトニクス・テクノロジー・レターズ」第10巻、第10号、第1413頁～第1415頁 (IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 10, pp. 1413-1415) に報告されている通りである。

【0017】入力される信号パルス光のビット・レート (繰り返し周波数) が非常に高速 (例えば、ビット・レートが100GHz以上) である場合、上述した従来の光3R再生装置や光2R再生装置で使用されている半導体光増幅器では、その注入電流が100mA～300mA程度であって、信号パルス光に与える非線形位相シフトの大きさが0.3 $\pi$ 程度しかない。このため、所望の強度雑音抑制作用を発揮するには不十分である、という問題がある。

【0018】この問題は、半導体光増幅器への注入電流を増加すれば解決することは可能であろう。しかし、そうすると、半導体光増幅器の消費電力が増加するだけでなく、半導体光増幅器を冷却するためのペルチェ・クーラーの消費電力も増加する、という別の問題が生じてしまう。

【0019】また、上述した従来の光3R再生装置と光2R再生装置では、入力される信号パルス光の波長と出力される信号パルス光 (再生パルス光) の波長を同一にすることが困難である、という問題もある。

【0020】そこで、本発明の目的は、半導体光増幅器の注入電流を増加しなくとも、また、入力信号パルス光に与える非線形位相シフトの大きさが $\pi$ に達しなくても、入力信号パルス光に対して所望の強度雑音抑制作用を発揮できる全光型光信号再生方法および装置を提供することにある。

【0021】本発明の他の目的は、ASE雑音を抑制して光通信システムのS/Nを改善できる全光型光信号再

10

20

30

40

50

生方法および装置を提供することにある。

【0022】本発明のさらに他の目的は、光強度の低い「0」レベルの入力信号パルス光に重畳した光雑音だけでなく光強度の高い「1」レベルの入力信号パルス光に重畳した光雑音も抑制できる全光型光信号再生方法および装置を提供することにある。

【0023】本発明のさらに他の目的は、信号光-ASE光間のビート雑音を抑制できる全光型光信号再生方法および装置を提供することにある。

【0024】本発明のさらに他の目的は、入力される信号パルス光の波長と出力される信号パルス光（再生パルス光）の波長を同一にすることができる全光型光信号再生方法および装置を提供することにある。

【0025】

【課題を解決するための手段】（1） 本発明の第1の全光型光信号再生方法は、（a） 第1波長の入力信号パルス光を第1非線形半導体導波手段に入射してその第1非線形半導体導波手段内に非線形の屈折率変化を惹起し、（b） 前記入力信号パルス光よりクロックを抽出して、前記第1波長とは異なる第2波長の第1クロックパルス光と、前記第1波長の第2クロックパルス光とを生成し、（c） 前記第1クロックパルス光を二つの成分に分岐し、得られた二つの成分の一方を第1遅延時間遅延させた後、それら二つの成分を含む前記第2波長の第1出力パルス光を生成し、（d） 前記第1出力パルス光を前記第1非線形半導体導波手段に入射し、前記入力信号パルス光によって惹起された前記屈折率変化を利用して、その第1出力パルス光に非線形の位相シフトを与え、（e） 位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1出力パルス光と、前記第1波長の前記第2クロックパルス光とを第1遅延干渉手段に入力し、もって前記第1出力パルス光から前記入力信号パルス光とは論理状態が反転した前記第2波長の第2出力パルス光を生成すると共に、前記第2クロックパルス光から前記第1波長の第3出力パルス光とを生成し、（f） 前記第2波長の前記第2出力パルス光を第2非線形半導体導波手段に入射してその第2非線形半導体導波手段内に非線形の屈折率変化を惹起し、（g） 前記第1波長の第3出力パルス光を前記第2非線形半導体導波手段に入射し、前記第2出力パルス光によって惹起された前記第2非線形半導体導波手段の前記屈折率変化を利用して、その第3出力パルス光に非線形の位相シフトを与え、（h） 位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第3出力パルス光を第2遅延干渉手段に入力し、もって前記入力信号パルス光と論理状態が同じである前記第1波長の第4出力パルス光を生成し、（i） 前記第4出力パルス光を用いて再生信号パルス光を生成するものである。

【0026】（2） 本発明の第1の全光型光信号再生方法では、第1波長の入力信号パルス光よりクロックを抽出し、第1波長とは異なる第2波長の第1クロックパ

ルス光と、第1波長の第2クロックパルス光とを生成する。そして、第1クロックパルス光を二つの成分に分岐し、得られた二つの成分の一方を第1遅延時間遅延させた後、それら二つの成分を含む第2波長の第1出力パルス光を生成する。

【0027】その後、その第2波長の第1出力パルス光を第1非線形半導体導波路に入射し、第1波長の入力信号パルス光の入射によって惹起せしめられた非線形の屈折率変化を利用して、その第1出力パルス光に非線形の位相シフトを与える。

【0028】次に、こうして位相シフトが与えられた第2波長の第1出力パルス光と、第1波長の第2クロックパルス光とを第1遅延干渉手段に入力する。こうして、第1出力パルス光から入力信号パルス光とは論理状態が反転した第2波長の第2出力パルス光を生成すると共に、第2クロックパルス光から第1波長の第3出力パルス光を生成する。

【0029】さらに、第1遅延干渉手段で生成された第2波長の第2出力パルス光を第2非線形半導体導波手段に入射して非線形の屈折率変化を惹起する一方、第1遅延干渉手段で生成された第1波長の第3出力パルス光を同じ第2非線形半導体導波手段に入射し、第2出力パルス光によって惹起された屈折率変化を利用してその第3出力パルス光に非線形の位相シフトを与える。その後、こうして位相シフトが与えられた第1波長の第3出力パルス光を第2遅延干渉手段に入力し、入力信号パルス光と論理状態が同じである第1波長の第4出力パルス光を生成する。

【0030】最後に、こうして生成された第4出力パルス光を用いて再生信号パルス光を生成する。

【0031】このように、本発明の第1の全光型光信号再生方法では、第1遅延干渉手段を用いて、第1波長の入力信号パルス光とは論理状態が反転した第2波長の第2出力パルス光を生成した後、さらに第2遅延干渉手段を用いて、第3出力パルス光から入力信号パルス光と論理状態が同じである第1波長の第4出力パルス光を生成し、最後にその第4出力パルス光を用いて再生信号パルス光を生成する。このため、第1および第2の遅延干渉手段の持つ特性に基づき、半導体光増幅器（つまり、第1および第2の非線形半導体導波手段）の注入電流を増加しなくとも、また、入力信号パルス光に与えられる非線形位相シフトの大きさが $\pi$ に達しなくても、入力信号パルス光に対して所望の強度雑音抑制作用を発揮できる。したがって、ASE雑音を抑制して光通信システムのS/Nを改善できる。

【0032】さらに、光強度の低い「0」レベルの入力信号パルス光に重畳した光雑音だけでなく光強度の高い「1」レベルの入力信号パルス光に重畳した光雑音も抑制できる。その結果、信号光-ASE光間のビート雑音も抑制できる。

【0033】しかも、入力される信号パルス光の波長と出力される信号パルス光（再生パルス光）の波長が、必ず同一となる。

【0034】（3） 本発明の第1の全光型光信号再生方法では、前記入力信号パルス光を前記第1非線形半導体導波手段に入射するタイミングを、前記第1遅延時間ずれた前記第1出力パルス光の二つの前記成分のパルスの間に位置するように設定するのが好ましい。

【0035】また、前記第1遅延干渉手段では、位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1出力パルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第2出力パルス光を生成し、また、前記第1波長の前記第2クロックパルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に前記第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を含む前記第3出力パルス光を生成し、前記第2遅延干渉手段では、位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第3出力パルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第2遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第4出力パルス光を生成するのが好ましい。

【0036】前記第1非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記入力信号パルス光は、前記第1遅延干渉手段に入射する前に第1波長フィルタで除去するのが好ましい。

【0037】前記第2非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記第2出力パルス光は、前記第2遅延干渉手段に入射する前に第2波長フィルタにより除去するのが好ましい。

【0038】前記第1非線形半導体導波手段および前記第2非線形半導体導波手段の少なくとも一方として、半導体光増幅器あるいは光吸収型半導体導波路を使用するのが好ましい。

【0039】（4） 本発明の第1の全光型光信号再生装置は、（a） 第1波長の入力信号パルス光よりクロックを抽出して、前記第1波長とは異なる第2波長の第1クロックパルス光と、前記第1波長の第2クロックパルス光とをそれぞれ生成する第1および第2のクロック光生成手段と、（b） 前記第1クロックパルス光を二つの成分に分岐し、得られた二つの成分の一方を第1遅延時間遅延させた後、それら二つの成分を含む前記第2波長の第1出力パルス光を生成する第1出力パルス光生成手段と、（c） 前記入力信号パルス光を受けて惹起せしめられる非線形の屈折率変化を利用して、前記第1出力パルス光に非線形の位相シフトを与える第1非線形半導体導波手段と、（d） 位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1出力パルス光と、前記第1波長の前記第2クロックパルス光とを入力し、もって前記第1

出力パルス光から前記入力信号パルス光とは論理状態が反転した前記第2波長の第2出力パルス光を生成すると共に、前記第2クロックパルス光から前記第1波長の第3出力パルス光とを生成する第1遅延干渉手段と、

（e） 前記第2波長の前記第2出力パルス光を受けて惹起せしめられる非線形の屈折率変化を利用して、前記第1波長の前記第3出力パルス光に非線形の位相シフトを与える第2非線形半導体導波手段と、（f） 位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第3出力パルス光を入力し、もって前記入力信号パルス光と論理状態が同じである前記第1波長の第4出力パルス光を生成する第2遅延干渉手段とを備え、前記第4干渉パルス光を用いて再生信号パルス光が生成されるものである。

【0040】（5） 本発明の第1の全光型光信号再生装置では、本発明の第1の全光型光信号再生方法の場合と同様の理由により、その方法の場合と同じ効果が得られる。

【0041】（6） 本発明の第1の全光型光信号再生装置では、前記入力信号パルス光を前記第1非線形半導体導波手段に入射するタイミングを、前記第1遅延時間ずれた前記第1出力パルス光の二つの前記成分のパルスの間に位置するように設定するのが好ましい。

【0042】前記第1遅延干渉手段は、位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1出力パルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第2出力パルス光を生成し、また、前記第1波長の前記第2クロックパルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に前記第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を含む前記第3出力パルス光を生成し、前記第2遅延干渉手段は、位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第3出力パルス光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第2遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第4出力パルス光を生成するのが好ましい。

【0043】前記第1非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記入力信号パルス光を、前記第1遅延干渉手段に入射する前に除去する第1波長フィルタを備えているのが好ましい。

【0044】前記第2非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記第2出力パルス光を、前記第2遅延干渉手段に入射する前に除去する第2波長フィルタを備えているのが好ましい。

【0045】前記第1非線形半導体導波手段および前記第2非線形半導体導波手段の少なくとも一方が、半導体光増幅器または光吸収型半導体導波路により形成されるのが好ましい。

【0046】（7） 本発明の第2の全光型光信号再生

10

20

30

40

50

方法は、(a) 第1波長の入力信号パルス光を第1非線形半導体導波手段に入射してその第1非線形半導体導波手段内に非線形の屈折率変化を惹起し、(b) 前記第1波長とは異なる第2波長の第1連続光を前記第1非線形半導体導波手段に入射し、前記入力信号パルス光によって惹起された前記屈折率変化を利用してその第1連続光に非線形の位相シフトを与え、(c) 前記第1波長の前記入力信号パルス光と、位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1連続光とを第1遅延干渉手段に入射し、もって前記入力信号パルス光とは論理状態が反転した複数のパルス状凹部を有する前記第2波長の歪み連続光を生成し、(d) 前記第2波長の前記歪み連続光を第2非線形半導体導波手段に入射してその第2非線形半導体導波手段内に非線形の屈折率変化を惹起し、

(e) 前記第1波長の第2連続光を前記第2非線形半導体導波手段に入射し、前記歪み連続光によって惹起された前記屈折率変化を利用してその第2連続光に非線形の位相シフトを与え、(f) 前記第2波長の前記歪み連続光と、位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第2連続光とを第2遅延干渉手段に入射し、もって前記入力信号パルス光と論理状態が同じである前記第1波長の出力パルス光を生成し、(g) 前記出力パルス光を用いて再生信号パルス光を生成するものである。

【0047】(8) 本発明の第2の全光型光信号再生方法では、第1波長の入力信号パルス光を第1非線形半導体導波手段に入射して惹起せしめた非線形の屈折率変化を利用して、第1波長とは異なる第2波長の第1連続光に非線形の位相シフトを与える。また、第1波長の入力信号パルス光と、位相シフトが与えられた第2波長の第1連続光とを第1遅延干渉手段に入射し、もって入力信号パルス光とは論理状態が反転した複数のパルス状凹部を有する第2波長の歪み連続光を生成する。

【0048】次に、こうして生成した第2波長の歪み連続光を第2非線形半導体導波手段に入射して非線形の屈折率変化を惹起し、その屈折率変化を利用して第1波長の第2連続光に非線形の位相シフトを与える。そして、第2波長の歪み連続光と、位相シフトが与えられた第1波長の第2連続光とを第2遅延干渉手段に入射し、もって入力信号パルス光と論理状態が同じである第1波長の出力パルス光を生成する。最後に、その出力パルス光を用いて再生信号パルス光を生成する。

【0049】本発明の第2の全光型光信号再生方法では、以上のようにして再生パルス光を生成するため、第1および第2の遅延干渉手段の持つ特性に基づき、半導体光増幅器（つまり第1および第2の非線形半導体導波手段）の注入電流を増加しなくとも、また、光信号に与える非線形位相シフトの大きさが $\pi$ に達しなくとも、入力する信号パルス光に対して所望の強度雑音抑制作用を発揮できる。したがって、ASE雑音を抑制して光通信システムのS/Nを改善できる。

【0050】さらに、光強度の低い「0」レベルの入力信号パルス光に重畳した光雑音だけでなく光強度の高い「1」レベルの入力信号パルス光に重畳した光雑音も抑制できる。その結果、信号光-ASE光間のビート雑音も抑制できる。

【0051】しかも、入力される信号パルス光の波長と出力される信号パルス光（再生パルス光）の波長が、必ず同一となる。

【0052】(9) 本発明の第2の全光型光信号再生方法では、前記第1遅延干渉手段では、位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1連続光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第2波長の前記歪み連続光を生成し、前記第2遅延干渉手段では、位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第2連続光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第2遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第1波長の前記出力パルス光を生成するのが好ましい。

【0053】前記第1非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記入力パルス光を、前記第2非線形半導体導波手段から出射した後に第1波長フィルタにより除去するのが好ましい。

【0054】前記第2非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記歪み連続光を、前記第2遅延干渉手段から出射した後に第2波長フィルタにより除去するのが好ましい。

【0055】前記第1非線形半導体導波手段および前記第2非線形半導体導波手段の少なくとも一方として、半導体光増幅器あるいは光吸収型半導体導波路を使用するのが好ましい。

【0056】(10) 本発明の第2の全光型光信号再生装置は、(a) 第1波長の入力信号パルス光を受けて非線形の屈折率変化を惹起する第1非線形半導体導波手段と、(b) 前記第1波長とは異なる第2波長の第1連続光と前記第1波長の第2連続光をそれぞれ生成する第1および第2の連続光生成手段と、(c) 前記第1波長の入力信号パルス光と、前記第1非線形半導体導波手段で位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1連続光とを入射し、もって前記入力信号パルス光とは論理状態が反転した複数のパルス状凹部を有する前記第2波長の歪み連続光を生成する第1遅延干渉手段と、

(d) 前記第2波長の前記歪み連続光を受けて非線形の屈折率変化を惹起する第2非線形半導体導波手段と、

(e) 前記第2波長の前記歪み連続光と、前記第2非線形半導体導波手段で位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第2連続光とを入射し、もって前記入力信号パルス光と論理状態が同じである前記第1波長の出力パルス光を生成する第2遅延干渉手段とを備え、前記出力



パルス光を用いて再生信号パルス光が生成されるものである。

【0057】(11) 本発明の第2の全光型光信号再生装置では、本発明の第2の全光型光信号再生方法の場合と同様の理由により、その方法の場合と同じ効果が得られる。

【0058】(12) 本発明の第2の全光型光信号再生装置では、前記第1遅延干渉手段は、位相シフトが与えられた前記第2波長の前記第1連続光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第1遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第2波長前記歪み連続光を生成し、前記第2遅延干渉手段は、位相シフトが与えられた前記第1波長の前記第2連続光を二つの成分に分岐した後、それら二つの成分のいずれか一方に第2遅延時間を与えてから結合することにより、それら二つの成分を干渉させて前記第1波長前記出力パルス光を生成するのが好ましい。

【0059】前記第1非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記入力信号パルス光を、前記第2非線形半導体導波手段から出射した後に除去する第1波長フィルタを備えているのが好ましい。

【0060】前記第2非線形半導体導波手段に入射して前記屈折率変化を惹起した前記歪み連続光を、前記第2遅延干渉手段から出射した後に除去する第2波長フィルタを備えているのが好ましい。

【0061】前記第1非線形半導体導波手段および前記第2非線形半導体導波手段の少なくとも一方が、半導体光増幅器あるいは光吸収型半導体導波路により形成されるのが好ましい。

【0062】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態について添付図面を参照しながら説明する。

【0063】(第1実施形態) 図1は、本発明の第1実施形態の全光型光信号再生装置20の構成を示す。この装置20は、光3R再生を2段階で行うものである。

【0064】図1に示すように、第1実施形態の光信号再生装置20は、クロック抽出器1と、第1クロック光光源2と、第1遅延干渉器3と、第1非線形半導体導波路4と、第1バンドパス波長フィルタ5と、第2遅延干渉器6と、第2非線形半導体導波路7と、第2バンドパス波長フィルタ8と、第3遅延干渉器9と、第2クロック光光源10と、入力ポート11と、出力ポート12と、第1半導体光増幅器(SOA)13と、第2半導体光増幅器14とを備えている。

【0065】第1半導体光増幅器13と、第1遅延干渉器3と、第1非線形半導体導波路4と、第1バンドパス波長フィルタ5と、第2遅延干渉器6は、第1段の「光3R再生部」を構成する。また、第2遅延干渉器6と、第2非線形半導体導波路7と、第2バンドパス波長フィ

ルタ8と、第3遅延干渉器9と、第2半導体光増幅器14とは、第2段の「光3R再生部」を構成する。

【0066】信号パルス光 $S_{IN}$ (波長: $\lambda_1$ )は、図3(a)に示すように、「1」パルスと「0」パルス(つまりスペース)とからなるRZ符号化(Return-to-Zero Coded)信号であり、入力ポート11からこの光信号再生装置20に入力される。入力された信号パルス光 $S_{IN}$ は、最初に第1半導体光増幅器13で増幅される、つまり振幅が拡大される。その結果、増幅信号パルス光 $S_{INA}$ となる。

【0067】増幅信号パルス光 $S_{INA}$ は、一方では第1非線形半導体導波路4に入射され、その内部に非線形の屈折率変化を引き起こす。他方、増幅信号パルス光 $S_{INA}$ はクロック抽出器1に入射される。

【0068】クロック抽出器1は、増幅信号パルス光 $S_{INA}$ に含まれるクロックを抽出し、クロック信号 $S_1$ として第1クロック光光源2と第2クロック光光源10に送る。

【0069】第1クロック光光源2は、送られてきたクロック信号 $S_1$ に基づいて第1クロックパルス光 $S_2$ を生成し、第1遅延干渉器3に送る。第1クロックパルス光 $S_2$ の波長は $\lambda_2$ であり、入力された信号パルス光 $S_{IN}$ の波長 $\lambda_1$ とは異なっている。第1クロックパルス光 $S_2$ は、信号パルス光 $S_{IN}$ と同様に、図3(d)に示すような「1」パルスと「0」パルスとからなるRZ符号化信号である。第1クロック光パルス $S_2$ の繰り返し周波数(ビット・レート)は、入力された信号パルス光 $S_{IN}$ の繰り返し周波数(ビット・レート)に等しい。

【0070】第1遅延干渉器3は、図2(a)に示す構成を持つ。すなわち、第1遅延干渉器3は、光分岐器3aと、位相バイアス制御器3bと、光結合器3cとを備えている。第1遅延干渉器3に送られてきた第1クロックパルス光 $S_2$ (波長: $\lambda_2$ )は、最初に光分岐器3aによって二つの直交する偏光成分 $S_{2a}$ と $S_{2b}$ に強度50:50で分割される。ここでは、第1クロックパルス光 $S_2$ は直交偏光成分 $S_{2a}$ と同相偏光成分 $S_{2b}$ に分割される。そして、直交偏光成分 $S_{2a}$ はそのまま光結合器3cに送られる。同相偏光成分 $S_{2b}$ は、位相バイアス制御器3bを介して光結合器3cに送られる。位相バイアス制御器3bは、同相偏光成分 $S_{2b}$ に遅延時間 $\Delta t_1$ を与え、遅延同相偏光成分 $S_{2b'}$ を生成する。この遅延同相偏光成分 $S_{2b'}$ は、光結合器3cで直交偏光成分 $S_{2a}$ と結合され、第1出力パルス光 $S_3$ として出力される。

【0071】直交偏光成分 $S_{2a}$ と遅延同相偏光成分 $S_{2b'}$ は、時間差 $\Delta t_1$ を有しているが、偏光状態が異なるので、光結合器3cで結合しても互いに干渉を起こさない。よって、直交偏光成分 $S_{2a}$ と遅延同相偏光成分 $S_{2b'}$ はそのまま混合せしめられて第1出力パルス光 $S_3$ となる。すなわち、第1出力パルス光 $S_3$ は直交偏光成分 $S_{2a}$ と遅延同相偏光成分 $S_{2b'}$ をその成分として含ん

でいる。

【0072】この第1実施形態の光信号再生装置20では、一方の偏光成分 $S_{2a}$ を直交偏光成分とし、他方の偏光成分 $S_{2b}$ を同相偏光成分としている。しかし、二つの偏光成分 $S_{2a}$ と $S_{2b}$ は互いに直交していればよいので、例えば、一方の偏光成分 $S_{2a}$ を右回り円偏光成分とし、他方の偏光成分 $S_{2b}$ を左回り円偏光成分としてもよい。

【0073】第1遅延干渉器3で同相偏光成分 $S_{2b}$ に与えられる遅延時間 $\Delta t_1$ は、信号パルス光 $S_{IN}$ のパルス間隔（これはクロック光パルス $S_2$ のパルス間隔に等しい）の50%とするのが最適であるが、25%~75%程度としてもよい。これは、後述するように、第2遅延干渉器6において遅延時間 $\Delta t_2$ を位相シフトした第1干渉パルス光 $S_3$ に与える際に、遅延時間 $\Delta t_2$ を調整して、第1干渉パルス光 $S_3$ の二つの偏光成分 $S_{2a}$ と $S_{2b}$ の間で互いに強め合う干渉（constructive interference）と互いに弱め合う干渉（destructive interference）のいずれかを発生させるが、その時に所望の干渉を発生させるのが容易になるからである。

【0074】なお、第1遅延干渉器3では、上述のように、第1クロックパルス光 $S_2$ の直交偏光成分 $S_{2a}$ と遅延同相偏光成分 $S_{2b}$ は互いに干渉しない。したがって、第1クロックパルス光 $S_2$ の直交偏光成分 $S_{2a}$ と同相偏光成分 $S_{2b}$ に分岐（分波）し、いずれか一方の成分に遅延時間 $\Delta t_1$ を与えてから再び結合（合波）できる光学素子であれば、他の任意の素子を第1遅延干渉器3に代えて使用することが可能である。

【0075】こうして第1遅延干渉器3で生成された波長 $\lambda_2$ の第1出力パルス光 $S_3$ （ $= S_{2a} + S_{2b}$ ）は、次に第1非線形半導体導波路4に入射される。第1非線形半導体導波路4に増幅された入力信号パルス光 $S_{INA}$ が導入されると、第1非線形半導体導波路4の内部には非線形の屈折率変化が引き起こされる。そこで、その屈折率変化に応じて、第1出力パルス光 $S_3$ の位相がシフトする。こうして位相がシフトした第1出力パルス光 $S_3$ が、第1非線形半導体導波路4から出力される。これと同時に、増幅された入力パルス光 $S_{INA}$ も第1非線形半導体導波路4から出力される。増幅入力パルス光 $S_{INA}$ の位相はシフトしない。したがって、第1非線形半導体導波路4から出力されるのは、位相シフトした第1出力パルス光 $S_3$ と、位相シフトしていない増幅入力信号パルス光 $S_{INA}$ である。

【0076】第1非線形半導体導波路4から出力される第1出力パルス光 $S_3$ と増幅入力信号パルス光 $S_{INA}$ は、次に第1バンドパス波長フィルタ5に送られる。第1バンドパス波長フィルタ5は、波長 $\lambda_2$ の第1出力パルス光 $S_3$ を透過させるが、波長 $\lambda_1$ の入力信号パルス光 $S_{INA}$ を透過させない特性を持つ。よって、増幅入力信号パルス光 $S_{INA}$ はここで消滅する。第1バンドパス波長フィルタ5を透過した第1出力パルス光 $S_3$ （ $= S_{2a} +$

$S_{2b}$ ）は、次に第2遅延干渉器6に送られる。

【0077】他方、第2クロック光光源10は、クロック抽出器1から送られてきたクロック信号 $S_1$ に基づいて、図3（d）に示すような第2クロックパルス光 $S_{10}$ （波長： $\lambda_1$ ）を生成し、第2遅延干渉器6に送る。第2クロックパルス光 $S_{10}$ の波長は $\lambda_1$ であり、信号パルス光 $S_{IN}$ の波長と同じであるが、第1クロックパルス光 $S_2$ の波長 $\lambda_2$ とは異なっている。第2クロックパルス光 $S_{10}$ の波形は、第1クロックパルス光 $S_2$ のそれと同じである。

【0078】こうして、第2遅延干渉器6には、波長 $\lambda_2$ の第1出力パルス光 $S_3$ （ $= S_{2a} + S_{2b}$ ）と波長 $\lambda_1$ の第2クロックパルス光 $S_{10}$ とが供給される。このとき、第2クロックパルス光 $S_{10}$ が第2遅延干渉器6に入力されるタイミングは、図4に示すように行われる。すなわち、 $\Delta t_1$ だけ遅延せしめられた、第1出力パルス光 $S_3$ の直交偏光成分 $S_{2a}$ のパルスと遅延同相偏光成分 $S_{2b}$ のパルスの間の任意の時刻 $t_{in}$ に設定されている。つまり、時刻 $t_{in}$ に第2クロックパルス光 $S_{10}$ のピークが来るように設定されている。

【0079】第2遅延干渉器6は、第1遅延干渉器3と同じ構成である。すなわち、図2（b）のように、光分岐器6aと、位相バイアス制御器6bと、光結合器6cとを備えている。第2遅延干渉器6に送られてきた波長 $\lambda_2$ の第1出力パルス光 $S_3$ は、最初に光分岐器6aによって二つの分岐光（光成分） $S_{3a}$ と $S_{3b}$ に強度50:50で分岐される。そして、第1分岐光 $S_{3a}$ はそのまま光結合器6cに送られる。他方、第2分岐光 $S_{3b}$ は、位相バイアス制御器6bを介して光結合器6cに送られるので、第2分岐光 $S_{3b}$ には位相バイアス制御器6bによって遅延時間 $\Delta t_2$ が与えられ、遅延第2分岐光 $S_{3b'}$ となる。 $\Delta t_2$ だけ遅延した第2分岐光 $S_{3b'}$ は、光結合器6cで第1分岐光 $S_{3a}$ と結合され、互いに干渉する。その結果、第1分岐光 $S_{3a}$ と遅延第2分岐光 $S_{3b'}$ との干渉光が、波長 $\lambda_2$ の第2出力パルス光 $S_{6a}$ として出力される。

【0080】第2遅延干渉器6はまた、光分岐器6aにおいて、第2クロック光光源10から送られてきた波長 $\lambda_1$ の第2クロックパルス光 $S_{10}$ についても、第1出力パルス光 $S_3$ と同様に、二つの分岐光（光成分） $S_{10a}$ と $S_{10b}$ に強度50:50で分割する。こうして生成された第1分岐光 $S_{10a}$ は、そのまま光結合器6cに送られる。他方、第2分岐光 $S_{10b}$ は位相バイアス制御器6bを介して光結合器6cに送られるので、第2分岐光 $S_{10b}$ には位相バイアス制御器6bによって遅延時間 $\Delta t_2$ が与えられ、遅延第2分岐光 $S_{10b'}$ となる。この遅延第2分岐光 $S_{10b'}$ は、光結合器6cで第1分岐光 $S_{10a}$ と結合されるが、互いに干渉しない。その結果、第1分岐光 $S_{10a}$ と遅延第2分岐光 $S_{10b'}$ とを含む第3出力パルス光 $S_{6b}$ が出力される。

【0081】第2遅延干渉器6の光結合器6cにおいて、第1出力パルス光 $S_3$ の第1分岐光 $S_{3a}$ と遅延第2分岐光 $S_{3b'}$ が互いに強め合う干渉(constructive interference)を引き起こすか、弱め合う干渉(destructive interference)を引き起こすかは、(i) 波長 $\lambda_2$ の第1出力パルス光 $S_3$ とほぼ同時に第1半導体光導波路4を通過する増幅信号パルス光 $S_{INa}$ が、「1」パルスであるか「0」パルスであるか(つまり、高レベルにあるか低レベルにあるか)、と(ii) 位相バイアス制御器6bにおいて印加する干渉位相バイアスをどの程度に設定するか、換言すれば、位相バイアス制御器6bが第1出力パルス光 $S_3$ の第2分岐光 $S_{3b}$ に与える遅延時間 $\Delta t_2$ をどの様に設定するか、の二つの要因によって決まる。

【0082】第2遅延干渉器6の光結合器6cにおいて、第2クロックパルス光 $S_{10}$ の第1分岐光 $S_{10a}$ と遅延第2分岐光 $S_{10b'}$ は、互いに干渉しない。

【0083】この第1実施形態の光信号再生装置20では、第2遅延干渉器6の位相バイアス制御器6bが与える遅延時間 $\Delta t_2$ と、第1遅延干渉器3の位相バイアス制御器3bが与える遅延時間 $\Delta t_1$ の和または差を適当に調整することにより、信号パルス光 $S_{IN}$ が「1」パルスである(つまり、高レベルにある)時に、第1出力パルス光 $S_3$ の第1分岐光 $S_{3a}$ と第2分岐光 $S_{3b'}$ が互いに弱め合う干渉を引き起こすようにしている。このため、第2遅延干渉器6から出力される波長 $\lambda_2$ の第2出力パルス光 $S_{6a}$ は、信号パルス光 $S_{IN}$ が「1」パルスである(高レベルにある)時に「0」パルスとなり、信号パルス光 $S_{IN}$ が「0」パルスである(低レベルにある)時に「1」パルスとなる。換言すれば、第1出力パルス光 $S_3$ の第1分岐光 $S_{3a}$ と第2分岐光 $S_{3b'}$ の干渉光から得られる波長 $\lambda_2$ の第2出力パルス光 $S_{6a}$ は、図3(b)に示すように、入力信号光パルス $S_{IN}$ の論理状態が反転したパルス光となる。

【0084】これに対し、第2クロックパルス光 $S_{10}$ の第1分岐光 $S_{10a}$ と遅延第2分岐光 $S_{10b'}$ は、互いに干渉しないので、波長 $\lambda_1$ の第3出力パルス光 $S_{6b}$ は、第1分岐光 $S_{10a}$ と遅延第2分岐光 $S_{10b'}$ を含むパルス光である。

【0085】第2遅延干渉器6は、正弦波形転送機能(sinusoidal transfer function)を持つので、以下のような理由により、第2出力パルス光 $S_{6a}$ の強度雑音が除去される。

【0086】一般に、干渉器の出力は、位相シフトに対して正弦波状の応答特性を持つ。すなわち、 $\Delta\Phi$ を非線形の位相シフト量とすると、干渉器の出力は $\sin^2(\Delta\Phi/2)$ に比例する。

【0087】例えば、「1」パルスが $0.5\pi$ の位相シフトを発生し、「0」パルスは位相シフトを発生しない

と仮定すると、次のようにいうことができる。

【0088】「1」パルスに重畳した光雑音は、位相シフト量に雑音を与え、その結果、位相シフト量が $0.5\pi$ の近傍でばらつく。 $0.5\pi$ の近傍での位相シフト雑音は、干渉器の出力に比較的大きな雑音を与える。他方、「0」パルスに重畳した光雑音は、位相シフト量に雑音を与えるが、位相シフト量は0の近傍でばらつく。0の近傍での位相シフト雑音も、干渉器の出力に雑音を与える。

10 【0089】しかし、上述の通り、干渉器の出力は $\sin^2(\Delta\Phi/2)$ に比例する特性を持つので、0の近傍の位相シフト雑音が生成する出力雑音は、 $0.5\pi$ の近傍での位相シフト雑音が生成する出力雑音よりもはるかに小さくなる。

【0090】これを第2遅延干渉器6に適用すれば、第2遅延干渉器6から出力される第2出力パルス光 $S_{6a}$ の「0」パルスに重畳した強度雑音は、同じ第2干渉パルス光 $S_{6a}$ の「1」パルスに重畳した強度雑音よりも小さくなるのである。

20 【0091】この点については、先に引用した二つの論文「エレクトロニクス・レターズ」第32巻、第6号、第566頁～第567頁(Electronics Letters, Vol. 32, No. 6, pp. 566-567, March 1996)と、「IEEE フォトニクス・テクノロジー・レターズ」第10巻、第10号、第1413頁～第1415頁(IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 10, pp. 1413-1415)にも報告されている。

30 【0092】また、入力信号パルス光 $S_{IN}$ の「1」パルスに重畳した強度の不均一性の大部分も同時に抑制される。

【0093】第2遅延干渉器6が与えるこの雑音抑制作用と強度不均一抑制作用は、第1半導体導波路4において第1出力パルス光 $S_3$ に与えられる非線形位相シフトが $0.2\pi$ 程度の小さいものであっても有効である。

【0094】以上で第1段の「光3R再生動作」が終了する。そこで、続いて第2段の「光3R再生動作」を以下のようにして行う。第2段の「光3R再生動作」では、第2遅延干渉器6から出力される波長 $\lambda_2$ の第2出力パルス光 $S_{6a}$ が、次の第2非線形半導体導波路7に非線形の屈折率変化を生じさせるために使用される。

40 【0095】第2遅延干渉器6が出力する波長 $\lambda_2$ の第2出力パルス光 $S_{6a}$ と波長 $\lambda_1$ の第3出力パルス光 $S_{6b}$ は、まず最初に、第2非線形半導体光導波路7に入射する。そして、第2出力パルス光 $S_{6a}$ は、非線形の屈折率変化をその半導体光導波路7の内部に引き起こす。第2出力パルス光 $S_{6a}$ は、図3(b)に示す波形を持っており、図3(a)に示す波形を持つ信号パルス光 $S_{IN}$ (波長: $\lambda_1$ )に対して逆論理のRZ符号となっている。したがって、第2非線形半導体導波路7の内部には、信号パルス光 $S_{IN}$ の場合とは逆の論理に従って非線形の屈折

率変化が生じる。よって、その屈折率変化に応じて第3出力パルス光  $S_{6b}$  の位相がシフトし、位相シフトした第3出力パルス光  $S_{6b}$  が第2非線形半導体導波路7から出力される。

【0096】非線形の屈折率変化を第2非線形半導体光導波路7に惹起するために使用された第2出力パルス光  $S_{6a}$  は、位相シフトなしに第2非線形半導体光導波路7から出力される。

【0097】このように、第2非線形半導体導波路7からは、位相シフトした第3出力パルス光  $S_{6b}$  と位相シフトのない第2出力パルス光  $S_{6a}$  が出力される。これらの位相シフトした第3出力パルス光  $S_{6b}$  と位相シフトのない第2出力パルス光  $S_{6a}$  は、第2バンドパス波長フィルタ8に送られる。第2バンドパス波長フィルタ8は、波長  $\lambda_1$  の第3出力パルス光  $S_{6b}$  を透過させるが、波長  $\lambda_2$  の第2出力パルス光  $S_{6a}$  を透過させないので、第2出力パルス光  $S_{6a}$  はここで消滅する。第2バンドパス波長フィルタ8を透過した第3出力パルス光  $S_{6b}$  は、次に第3遅延干渉器9に送られる。

【0098】第3遅延干渉器9も、第1遅延干渉器3と同じ構成を持つ。すなわち、図2(c)のように、光分岐器9aと、位相バイアス制御器9bと、光結合器9cとを備えている。第3遅延干渉器9に送られてきた波長  $\lambda_1$  の第3出力パルス光  $S_{6b}$  は、最初に光分岐器9aによって第1分岐光(光成分)  $S_{6ba}$  と第2分岐光(光成分)  $S_{6bb}$  に強度50:50で分岐される。そして、第1分岐光  $S_{6ba}$  はそのまま光結合器9cに送られる。第2分岐光  $S_{6bb}$  は、位相バイアス制御器9bを介して光結合器9cに送られるので、第2分岐光  $S_{6bb}$  には位相バイアス制御器9bによって遅延時間  $\Delta t_3$  が与えられ、遅延第2分岐光  $S_{6bb'}$  となる。 $\Delta t_3$  だけ遅延した第2分岐光  $S_{6bb'}$  は、光結合器9cで第1分岐光  $S_{6ba}$  と結合され、互いに干渉する。そして、その干渉光が第4出力パルス光  $S_g$  として出力される。

【0099】この第1実施形態の光信号再生装置20では、第3遅延干渉器9の位相バイアス制御器9bが与える遅延時間  $\Delta t_3$  と、第2遅延干渉器6の位相バイアス制御器6bが与える遅延時間  $\Delta t_2$  と、第1遅延干渉器3の位相バイアス制御器3bが与える遅延時間  $\Delta t_1$  の和または差を適当に調整することにより、第2半導体導波路7に入射する第2出力パルス光  $S_{6a}$  (波長:  $\lambda_2$ ) が「1」パルスである(つまり、高レベルにある)時に、第3出力パルス光  $S_{6b}$  の二つの分岐光  $S_{6ba}$  と  $S_{6bb'}$  が互いに弱め合って消滅するように設定されている。したがって、第3遅延干渉器9から波長  $\lambda_1$  の第4出力パルス光  $S_g$  が出力されるのは、波長  $\lambda_2$  の第2出力パルス光  $S_{6a}$  が「0」パルスである(低レベルにある)時のみである。つまり、第3遅延干渉器9から出力される波長  $\lambda_1$  の第4出力パルス光  $S_g$  は、図3(c)に示す波形を持つ。これは、入力信号パルス光  $S_{IN}$  と同

じ論理状態のパルス波形である。

【0100】第3遅延干渉器9においても、上述した正弦波形転送機能により、第3遅延干渉器9から出力される第4出力パルス光  $S_{6b}$  の「1」パルスに重畳した強度雑音は、同じ第4出力パルス光  $S_{6b}$  の「0」パルスに重畳した強度雑音よりも小さくなる。

【0101】また、入力信号パルス光  $S_{IN}$  の「0」パルスに重畳した強度の不均一性の大部分も同時に抑制される。

10 【0102】第3遅延干渉器9が与えるこの雑音抑制作用と強度不均一抑制作用は、第2半導体導波路7において第3出力パルス光  $S_{6b}$  に与えられる非線形位相シフトが0、 $2\pi$ 程度の小さいものであっても有効である。

【0103】以上で第2段の「光3R再生動作」が終了する。

【0104】こうして生成された第4出力パルス光  $S_g$  (波長:  $\lambda_1$ ) は、第2半導体光増幅器14で増幅されてから出力信号パルス(再生パルス)光  $S_{OUT}$  として出力ポート12から出力される。

20 【0105】従って、出力信号パルス(再生パルス)光  $S_{OUT}$  は、入力ポート11から入力された入力信号パルス光  $S_{IN}$  と同じ論理の波形を持つ。また、入力信号パルス光  $S_{IN}$  の「1」パルスの強度雑音と強度不均一は第2遅延干渉器6で抑制され、同入力信号パルス光  $S_{IN}$  の「0」パルスの強度雑音と強度不均一は第3遅延干渉器9で抑制される。したがって、入力信号パルス光  $S_{IN}$  の「1」パルスと「0」パルスの双方に重畳した強度雑音と強度不均一を抑制ないし除去することが可能となる。

30 【0106】以上述べたように、本発明の第1実施形態の全光型光信号再生装置20では、第1および第2の非線形半導体導波路4と7(すなわち半導体光増幅器)の注入電流を増加しなくとも、また、入力信号パルス光  $S_{IN}$  に与える非線形位相シフトの大きさが  $\pi$  に達しなくても、入力信号パルス光  $S_{IN}$  に対して所望の強度雑音抑制作用と強度不均一抑制作用を発揮できる。したがって、ASE雑音を抑制して光通信システムのS/Nを改善できる。

40 【0107】さらに、入力信号パルス光  $S_{IN}$  とは論理状態が逆の(反転した)第2出力パルス光  $S_{6a}$  を第2遅延干渉器6で生成した後、入力信号パルス光  $S_{IN}$  と論理状態が同じである第4出力パルス光  $S_g$  を第3遅延干渉器9で生成し、その第4出力パルス光  $S_g$  を増幅して再生パルス光  $S_{OUT}$  として出力するので、光強度の低い「0」レベルの入力信号パルス光  $S_{IN}$  に重畳した光雑音だけでなく光強度の高い「1」レベルの入力信号パルス光  $S_{IN}$  に重畳した光雑音も抑制できる。その結果、信号光-ASE光間のビート雑音も抑制でき、光通信システムのS/Nが改善される。

50 【0108】図8は、入力信号パルス光  $S_{IN}$  に重畳した強度不均一が抑制されることを調べるために、発明者が

行った試験の結果を示すグラフである。

【0109】この試験では、84 Gbit/s の擬似ランダム光信号（ワード長さ =  $2^{31}-1$ 、マーク率 = 1/2）を入力信号パルス光  $S_{IN}$  として入力ポート 11 に供給すると共に、84 Gbit/s のクロック光を第 1 クロックパルス光  $S_2$  として第 1 遅延干渉器 3 へ供給した状態で、第 2 遅延干渉器 6 の出力信号（すなわち第 2 出力パルス光  $S_{6a}$ ）を測定した。

【0110】図 8 (a) は入力信号パルス光  $S_{IN}$  としての擬似ランダム光信号の波形を示し、図 8 (b) は第 1 クロックパルス光  $S_2$  としてのクロック光の波形を示し、図 8 (c) は遅延干渉器 6 の出力信号すなわち第 2 出力パルス光  $S_{6a}$  の波形を示している。これらの波形はすべて、繰り返し周波数 82 MHz [84 GHz の (1/1024)] でサブハーモニック同期したストリークカメラで測定した平均波形である。ストリークカメラは、1024 ビットずつ平均化した波形を出力し、かつ、ワード長さが 1024 で割り切れないため、ストリークカメラで測定した入力波形と出力波形は、図 8

(a) と図 8 (b) に示すように、すべてが「1」パルス、つまり「1111111111」のように見える。入力信号パルス光  $S_{IN}$  として実際に用いたのは、擬似ランダム信号（例えば、「1101001101・・・」）であり、出力信号は入力信号パルスの論理を反転させた擬似ランダム信号（「0010110010・・・」）である。

【0111】図 8 (a) に示す強度の不均一な光信号を意図的に生成し、入力ポート 11 へ入力した。次に、第 1、第 2、第 3 の遅延干渉器 3、6、9 の位相バイアス制御器 3b、6b、9b などを適宜調整した。さらに、第 2 遅延干渉器 6 の出力を 84 Gbit/s の全光時間多重解除装置 (all-optical demultiplexer) と 10 Gbit/s の光受信装置を経てエラーレート測定装置へ送ることにより、第 1 実施形態の光信号再生装置 20 の第 1 段の「光 3R 作用部」が負論理でエラーなしに動作していることが確認できた。なお、この時の非線形位相シフト量は  $0.2\pi$  であった。

【0112】その後、第 2 遅延干渉器 6 の出力信号を測定した。その結果が図 8 (c) に示す波形である。

【0113】図 8 のグラフから明らかなように、第 1 実施形態の光信号再生装置 20 では、光信号の強度の不均一性も抑制することができる。

【0114】なお、上記構成の第 1 実施形態の全光型光信号再生装置 20 において、非線形半導体導波路 4、7 として、半導体光増幅器あるいは光吸収型半導体導波路を好適に使用できる。半導体光増幅器を使用すると、入力信号パルス光  $S_{IN}$  のレベル（つまり入力パワー）が小さくてもこの光信号再生装置 20 の適用が可能である、という利点がある。他方、光吸収型半導体導波路を使用すると、応答速度が高いので、入力信号パルス光  $S_{IN}$  の

繰り返し周波数が高くても、この光信号再生装置 20 の適用が可能である、という利点がある。

【0115】非線形半導体導波路 4、7 として半導体光増幅器を使用した場合、半導体光増幅器それ自体が増幅作用を持っているので、半導体光増幅器 13 と 14 は省略可能である。

【0116】半導体光増幅器に代えて、ファイバー光増幅器も使用できる。

【0117】第 1 実施形態の全光型光信号再生装置 20 では、第 1 遅延干渉器 3 が「第 1 出力パルス光生成手段」に対応し、第 2 遅延干渉器 6 が「第 1 遅延干渉手段」に対応し、第 3 遅延干渉器 9 が「第 2 遅延干渉手段」に対応する。

【0118】（第 2 実施形態）図 5 は、本発明の第 2 実施形態の全光型光信号再生装置 60 の構成を示す。この装置 60 は、光 2R 再生を 2 段階で行う点で、第 1 実施形態の光信号再生装置 20 と異なっている。

【0119】図 5 に示すように、第 2 実施形態の光信号再生装置 60 は、第 1 連続光光源 41 と、第 1 非線形半導体導波路 42 と、第 1 遅延干渉器 43 と、第 1 バンドパス波長フィルタ 44 と、第 2 非線形半導体導波路 45 と、第 2 遅延干渉器 46 と、第 2 バンドパス波長フィルタ 47 と、第 2 連続光光源 48 と、入力ポート 51 と、出力ポート 52 と、第 1 半導体光増幅器 53 と、第 2 半導体光増幅器 54 とを備えている。

【0120】第 1 半導体光増幅器 53 と、第 1 連続光光源 41 と、第 1 非線形半導体導波路 42 と、第 1 遅延干渉器 43 と、第 1 バンドパス波長フィルタ 44 とからなる部分は、第 1 段の「光 2R 再生部」である。また、第 2 半導体光増幅器 54 と、第 2 連続光光源 48 と、第 2 非線形半導体導波路 45 と、第 2 遅延干渉器 46 と、第 2 バンドパス波長フィルタ 47 とからなる部分は、第 2 段の「光 2R 再生部」である。

【0121】入力信号パルス光  $S_{IN}$ （波長： $\lambda_1$ ）は、図 7 (a) に示すように、「1」パルスと「0」パルス（つまりスペース）とからなっており、第 1 実施形態の場合と同じ RZ 符号化信号である。入力信号パルス光  $S_{IN}$  は、入力ポート 51 からこの全光型光信号再生装置 60 に入力される。入力信号パルス光  $S_{IN}$  は、最初に第 1 半導体光増幅器 53 で増幅される、つまり振幅が拡大される。その結果、増幅入力信号パルス光  $S_{INA}$  となる。

【0122】次に、増幅入力信号パルス光  $S_{INA}$  は、第 1 非線形半導体導波路 42 に入射し、第 1 非線形半導体導波路 42 の内部に非線形の屈折率変化を引き起こす。第 1 非線形半導体導波路 42 から出射した増幅入力信号パルス光  $S_{INA}$  は、第 1 遅延干渉器 43 に送られる。

【0123】他方、第 1 連続光光源 41 は、入力信号パルス光  $S_{IN}$  の波長  $\lambda_1$  とは異なる波長  $\lambda_2$  を持つ第 1 連続光  $S_{41}$  を生成し、第 1 非線形半導体導波路 42 に入射する。常に一定の強度を持つ第 1 連続光  $S_{41}$  は、増幅入

力信号パルス光  $S_{INa}$  によって第 1 非線形半導体導波路 42 に引き起こされた非線形の屈折率変化により、その屈折率変化に応じた非線形の位相シフトを受ける。こうして位相シフトを受けた第 1 連続光  $S_{41}$  は、次に第 1 遅延干渉器 43 に送られる。このとき、第 1 非線形半導体導波路 42 から出射した増幅入力パルス光  $S_{INa}$  については、位相シフトが生じない。

【0124】第 1 遅延干渉器 43 は、図 6 (a) のような構成を持つ。すなわち、光分岐器 43a と、位相バイアス制御器 43b と、光結合器 43c とを備えている。第 1 遅延干渉器 43 に送られてきた、位相シフトされた第 1 連続光  $S_{41}$  は、最初に光分岐器 43a によって偏光状態が同じ二つの分岐光 (光成分)  $S_{41a}$  と  $S_{41b}$  に分岐される。そして、第 1 分岐光  $S_{41a}$  は、位相バイアス制御器 43b を介して光結合器 43c に送られる。第 2 分岐光  $S_{41b}$  はそのまま光結合器 43c に送られる。第 1 分岐光  $S_{41a}$  には、位相バイアス制御器 43b で遅延時間  $\Delta t_{41}$  が与えられ、遅延第 2 分岐光  $S_{41a'}$  として出力される。遅延時間  $\Delta t_{41}$  が与えられた第 2 分岐光  $S_{41a'}$  と第 1 分岐光  $S_{41b}$  は、光結合器 43c で結合される。第 2 分岐光  $S_{41a'}$  と第 1 分岐光  $S_{41b}$  とは偏光状態が同じであるから、光結合器 43c で互いに干渉し、その干渉光が波長  $\lambda_2$  の第 1 出力光  $S_{43a}$  として出力される。

【0125】同様に、増幅された入力信号パルス光  $S_{INa}$  も、光分岐器 43a によって偏光状態が同じ二つの分岐光 (光成分)  $S_{INa}$  と  $S_{INab}$  に分岐される。そして、第 1 分岐光  $S_{INa}$  には、位相バイアス制御器 43b で遅延時間  $\Delta t_{41}$  が与えられ、遅延第 2 成分  $S_{INa'}$  として出力される。遅延時間  $\Delta t_{41}$  が与えられた第 2 分岐光  $S_{INa'}$  と第 1 分岐光  $S_{INab}$  は、光結合器 43c で結合される。第 2 分岐光  $S_{INa'}$  と第 1 分岐光  $S_{INab}$  とは偏光状態が同じであるが、光結合器 43c では干渉しない。その結果、第 1 分岐光  $S_{INab}$  と遅延第 2 分岐光  $S_{INa'}$  とを含む波長  $\lambda_1$  の第 2 出力光  $S_{43b}$  が出力される。

【0126】この第 2 実施形態の光信号再生装置 60 では、第 1 遅延干渉器 43 の光結合器 43c において、入力信号パルス光  $S_{INa}$  が「1」パルスである時に、第 1 連続光  $S_{41}$  の遅延第 1 分岐光  $S_{41a'}$  と第 2 分岐光  $S_{41b}$  が互いに弱め合って消滅するように設定されている。したがって、入力信号パルス光  $S_{INa}$  が「1」パルスである時には、第 1 連続光  $S_{41}$  に幅  $\Delta t_{41}$  のパルス状の窪みが生じる。したがって、第 1 遅延干渉器 43 が出力する波長  $\lambda_2$  の第 1 出力光  $S_{43a}$  は、図 7 (b) に示すように、平均光強度がピーク強度の  $(1/2)$  よりも大きい、やや特殊な信号波形を持つ。図 7 (b) に示す波形を持つ連続光を、ここでは「歪み連続光」と呼ぶ。

【0127】第 1 遅延干渉器 43 で与えられる遅延時間  $\Delta t_{41}$  は、入力信号パルス光  $S_{IN}$  のパルス間隔の 50

%以下で、且つ入力信号パルス光  $S_{IN}$  のパルス幅と同じ程度とする。これは、図 7 (a) に示す入力信号パルス光  $S_{IN}$  の「1」レベルと「0」レベルに応じて信号レベルが変化する図 7 (b) に示す「歪み連続光」を生成するためである。

【0128】第 1 遅延干渉器 43 において、正弦波形伝送機能により、入力信号パルス光  $S_{IN}$  の「1」パルスに重畳した強度雑音の大部分が除去される。換言すれば、第 1 遅延干渉器 43 から出力される第 1 出力光  $S_{43a}$  の「0」パルスに重畳した強度雑音は、第 1 遅延干渉器 43 から出力される同じ第 1 出力光  $S_{43a}$  の「1」パルスに重畳した強度雑音よりも小さくなる。

【0129】また、入力信号パルス光  $S_{IN}$  の「1」パルスに重畳した強度の不均一性の大部分も同時に抑制される。

【0130】第 1 遅延干渉器 43 が与えるこの雑音抑制作用と強度不均一抑制作用は、第 1 半導体導波路 42 において第 1 出力光  $S_{43}$  に与えられる非線形位相シフトが  $0.2\pi$  程度の小さいものであっても有効である。

【0131】第 1 遅延干渉器 43 から出力された第 1 出力光  $S_{43a}$  と第 2 出力光  $S_{43b}$  は、第 1 バンドパス波長フィルタ 44 に送られる。第 1 バンドパス波長フィルタ 44 は、波長  $\lambda_1$  の第 2 出力光  $S_{43b}$  を通さないで、図 7 (b) に示す波形を持つ波長  $\lambda_2$  の第 1 出力光  $S_{43a}$  のみが通過して第 2 非線形半導体導波路 45 に送られる。

【0132】以上で第 1 段の「光 2R 再生動作」が終了するので、続いて第 2 段の「光 2R 再生動作」を以下のようにして行う。

【0133】第 1 バンドパス波長フィルタ 44 を通過した波長  $\lambda_2$  の第 1 出力光  $S_{43a}$  は、第 2 非線形半導体導波路 45 の内部に非線形の屈折率変化を惹起する。

【0134】他方、第 2 連続光光源 48 は、入力信号パルス光  $S_{IN}$  と同じ波長  $\lambda_1$  を持つ第 2 連続光  $S_{48}$  を生成し、第 2 非線形半導体導波路 45 に送る。常に一定の強度を持つ第 2 連続光  $S_{48}$  は、第 1 出力光  $S_{43a}$  によって第 2 非線形半導体導波路 45 に引き起こされた非線形の屈折率変化の影響を受け、その屈折率変化に応じて非線形の位相シフトを受ける。そして、第 2 遅延干渉器 46 に送られる。

【0135】第 2 遅延干渉器 46 は、図 6 (b) のように、光分岐器 46a と、位相バイアス制御器 46b と、光結合器 46c とを備えている。第 2 遅延干渉器 46 に送られてきた第 1 出力光  $S_{43a}$  (波長:  $\lambda_2$ ) は、最初に光分岐器 46a によって第 1 分岐光 (光成分)  $S_{43aa}$  と第 2 分岐光 (光成分)  $S_{43ab}$  に分岐される。そして、第 1 分岐光  $S_{43aa}$  は、位相バイアス制御器 46b で遅延時間  $\Delta t_{42}$  を与えられて遅延第 1 分岐光  $S_{43aa'}$  となり、その後光結合器 46c に送られる。第 2 分岐光  $S_{43ab}$  はそのまま光結合器 46c に送られる。光結合器 4

6cでは、遅延第1分岐光 $S_{43aa'}$ と第2分岐光 $S_{43ab}$ とが結合されるが、互いに干渉しない。その結果、遅延第1分岐光 $S_{43aa'}$ と第2分岐光 $S_{43ab}$ を含む第3出力光 $S_{46a}$ (波長: $\lambda_2$ )が出力される。

【0136】他方、第2遅延干渉器46に送られてきた第2連続光 $S_{48}$ は、最初に光分岐器46aによって第1分岐光(光成分) $S_{48a}$ と第2分岐光(光成分) $S_{48b}$ に分岐される。そして、第1分岐光 $S_{48a}$ は、位相バイアス制御器46bで遅延時間 $\Delta t_{42}$ を与えられて遅延第1分岐光 $S_{48a'}$ となり、その後に光結合器46cに送られる。第2分岐光 $S_{48b}$ はそのまま光結合器46cに送られる。遅延第1分岐光 $S_{48a'}$ と第2分岐光 $S_{48b}$ は、光結合器46cで結合され、互いに干渉する。この干渉光が、第4出力光 $S_{46b}$ (波長: $\lambda_1$ )として出力される。

【0137】第2遅延干渉器46で与えられる遅延時間 $\Delta t_{42}$ は、第1遅延干渉器43で与えられる遅延時間 $\Delta t_{41}$ と同様に、入力信号パルス光 $S_{IN}$ のパルス間隔の50%以下とし、且つ入力信号パルス光 $S_{IN}$ のパルス幅と同じ程度とする。

【0138】この第2実施形態では、入力パルス光 $S_{IN}$ が「1」パルスである時に、第2連続光 $S_{48}$ の第1および第2の分岐光 $S_{48a}$ と $S_{48b}$ が互いに弱め合って消滅するように設定されている。したがって、入力信号パルス光 $S_{IN}$ が「1」パルスである時には、第2連続光 $S_{48}$ に幅 $\Delta t_{42}$ のパルス光が生じる。したがって、第2遅延干渉器46が出力する波長 $\lambda_1$ の第4出力光 $S_{46b}$ は、図7(c)に示すようなパルス列となる。これは入力信号パルス光 $S_{IN}$ と同じである。

【0139】第2遅延干渉器46において、正弦波形成送機能により、入力信号パルス光 $S_{IN}$ の「0」パルスに重畳した強度雑音の大部分が除去される。換言すれば、第2遅延干渉器46から出力される第4出力光 $S_{46b}$ の「0」パルスに重畳した強度雑音は、第2遅延干渉器46から出力される同じ第4出力光 $S_{46b}$ の「1」パルスに重畳した強度雑音よりも小さくなる。

【0140】また、入力信号パルス光 $S_{IN}$ の「1」パルスに重畳した強度の不均一性の大部分も同時に抑制される。

【0141】第2遅延干渉器46が与えるこの雑音抑制作用と強度不均一抑制作用は、第2半導体導波路45において第2連続光 $S_{48}$ に与えられる非線形位相シフトが $0.2\pi$ 程度の小さいものであっても有効である。

【0142】第2遅延干渉器46から出力された第3出力光 $S_{46a}$ と第4出力光 $S_{46b}$ は、第2バンドパス波長フィルタ47に送られる。第2バンドパス波長フィルタ47は、波長 $\lambda_2$ の第3干渉光 $S_{46a}$ を通さないで、図7(c)に示す波形を持つ波長 $\lambda_1$ の第4干渉光 $S_{46b}$ のみが通過する。

【0143】第2バンドパス波長フィルタ47を通過し

た第4干渉光 $S_{46b}$ は、第2半導体光増幅器54で増幅され、出力信号パルス(再生パルス光) $S_{OUT}$ として出力ポート52から出力される。

【0144】以上で第2段の「2R再生動作」が終了する。

【0145】従って、出力信号パルス(再生パルス)光 $S_{OUT}$ は、入力ポート51から入力された入力信号パルス光 $S_{IN}$ と同じ論理を持つ。また、入力信号パルス光 $S_{IN}$ の「1」パルスの強度雑音は第1遅延干渉器43で除去され、同入力信号パルス光 $S_{IN}$ の「0」パルスの強度雑音は第2遅延干渉器46で除去される。したがって、入力信号パルス光 $S_{IN}$ の「1」パルスと「0」パルスの双方に重畳した強度雑音を除去することが可能となる。

【0146】以上述べたように、本発明の第2実施形態の全光型光信号再生装置60では、非線形半導体導波路42と45(すなわち半導体光増幅器)の注入電流を増加しなくとも、また、入力信号パルス光 $S_{IN}$ に与える非線形位相シフトの大きさが $\pi$ に達しなくとも、入力信号パルス光 $S_{IN}$ に対して所望の強度雑音抑制作用と強度不均一抑制作用を発揮できる。したがって、ASE雑音を抑制して光通信システムのS/Nを改善できる。

【0147】さらに、入力信号パルス光 $S_{IN}$ とは論理状態が逆の(反転した)波長 $\lambda_2$ の第1出力光 $S_{43a}$ を第1遅延干渉器43で生成した後、入力信号パルス光 $S_{IN}$ と論理状態が同じである波長 $\lambda_1$ の第4出力光 $S_{46b}$ を第2遅延干渉器46で生成し、その第4出力パルス光 $S_{46b}$ を出力信号パルス(再生パルス)光 $S_{OUT}$ として出力するので、光強度の低い「0」レベルの入力信号パルス光 $S_{IN}$ に重畳した光雑音だけでなく光強度の高い「1」レベルの入力信号パルス光 $S_{IN}$ に重畳した光雑音も抑制できる。その結果、信号光-ASE光間のビート雑音も抑制でき、光通信システムのS/Nが改善される。

【0148】なお、上記構成の第2実施形態の全光型光信号再生装置60において、非線形半導体導波路42、45として、半導体光増幅器あるいは光吸収型半導体導波路を好適に使用できる。半導体光増幅器を使用すると、入力信号パルス光 $S_{IN}$ のレベル(つまり入力パワー)が小さくてもこの光信号再生装置20の適用が可能である、という利点がある。他方、光吸収型半導体導波路を使用すると、応答速度が高いので、入力信号パルス光 $S_{IN}$ の繰返し周波数が高くても、この光信号再生装置60の適用が可能である、という利点がある。

【0149】非線形半導体導波路42、45として半導体光増幅器を使用した場合は、半導体光増幅器それ自体が増幅作用を持っているので、半導体光増幅器53と54を省略できる。

【0150】半導体光増幅器に代えて、ファイバー光増幅器も使用できる。

【0151】(第3実施形態)図9は、本発明の第3実施形態の全光型光信号再生装置20Aの構成を示す。こ

10

20

30

40

50

の装置 20A は、第 1 実施形態の装置 20 の構成から半導体光増幅器 13 と 14 を取り外したものである。この場合、第 1 実施形態の装置 20 と同じ効果に加えて、構成がより簡単になる利点がある。

【0152】(第 4 実施形態) 図 10 は、本発明の第 4 実施形態の全光型光信号再生装置 60A の構成を示す。この装置 60A は、第 2 実施形態の装置 60 の構成から半導体光増幅器 53 と 54 を取り外したものである。この場合、第 2 実施形態の装置 60 と同じ効果に加えて、構成がより簡単になる利点がある。

【0153】なお、上記第 1 ～ 第 4 実施形態は、本発明の好適な例を示すものである。本発明はこれら実施形態に限定されず、種々の変更が可能なことは言うまでもない。

#### 【0154】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の全光型光信号再生方法および装置によれば、半導体光増幅器の注入電流を増加しなくとも、また、入力信号パルス光に与える非線形位相シフトの大きさが  $\pi$  に達しなくても、入力信号パルス光に対して所望の強度雑音抑制作用を発揮できる。

【0155】また、ASE 雑音を抑制して光通信システムの S/N を改善でき、光強度の低い「0」レベルの光信号に重畳した光雑音だけでなく光強度の高い「1」レベルの光信号に重畳した光雑音も抑制できる。

【0156】さらに、信号光-ASE 光間のビート雑音を抑制でき、入力される信号パルス光の波長と出力される信号パルス光(再生パルス光)の波長を同一にすることもできる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施形態の全光型光信号再生装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図 2】図 1 の第 1 実施形態の全光型光信号再生装置で使用する遅延干渉器の構成を示す機能ブロック図である。

【図 3】図 1 の第 1 実施形態の全光型光信号再生装置で使用する入力信号パルス光と第 1 および第 2 のクロックパルス光、並びにその装置で生成される出力パルス光の波形図である。

【図 4】図 1 の第 1 実施形態の全光型光信号再生装置において、第 1 出力パルス光の二つの偏光成分のパルスと、第 1 クロックパルス光の入射タイミングとの関係を示す波形図である。

【図 5】本発明の第 2 実施形態の全光型光信号再生装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図 6】図 5 の第 2 実施形態の全光型光信号再生装置で使用する遅延干渉器の構成を示す機能ブロック図である。

【図 7】図 5 の第 2 実施形態の全光型光信号再生装置で使用する入力信号パルス光と、その装置で生成される

第 1 および第 3 の出力光の波形図である。

【図 8】図 1 の第 1 実施形態の全光型光信号再生装置において、入力信号パルス光に重畳した強度不均一が抑制されることを調べるために、発明者が行った試験の結果を示すグラフである。

【図 9】本発明の第 3 実施形態の全光型光信号再生装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図 10】本発明の第 4 実施形態の全光型光信号再生装置の構成を示す機能ブロック図である。

#### 10 【符号の説明】

- 1 クロック抽出器
- 2 第 1 クロック光光源
- 3 第 1 遅延干渉器 3
- 3 a 光分岐器
- 3 b 位相バイアス制御器
- 3 c 光結合器
- 4 第 1 非線形半導体導波路
- 5 第 1 バンドパス波長フィルタ
- 6 第 2 遅延干渉器
- 6 a 光分岐器
- 6 b 位相バイアス制御器
- 6 c 光結合器
- 7 第 2 非線形半導体導波路
- 8 第 2 バンドパス波長フィルタ
- 9 第 3 遅延干渉器
- 9 a 光分岐器
- 9 b 位相バイアス制御器
- 9 c 光結合器
- 10 第 2 クロック光光源
- 11 入力ポート
- 12 出力ポート
- 13 第 1 半導体光増幅器
- 14 第 1 半導体光増幅器
- 20 光信号再生装置
- 41 第 1 連続光光源
- 42 第 1 非線形半導体導波路
- 43 第 1 遅延干渉器
- 43 a 光分岐器
- 43 b 位相バイアス制御器
- 43 c 光結合器
- 44 第 1 バンドパス波長フィルタ
- 45 第 2 非線形半導体導波路
- 46 第 2 遅延干渉器
- 46 a 光分岐器
- 46 b 位相バイアス制御器
- 46 c 光結合器
- 47 第 2 バンドパス波長フィルタ 47
- 48 第 2 連続光光源
- 51 入力ポート
- 52 出力ポート 52

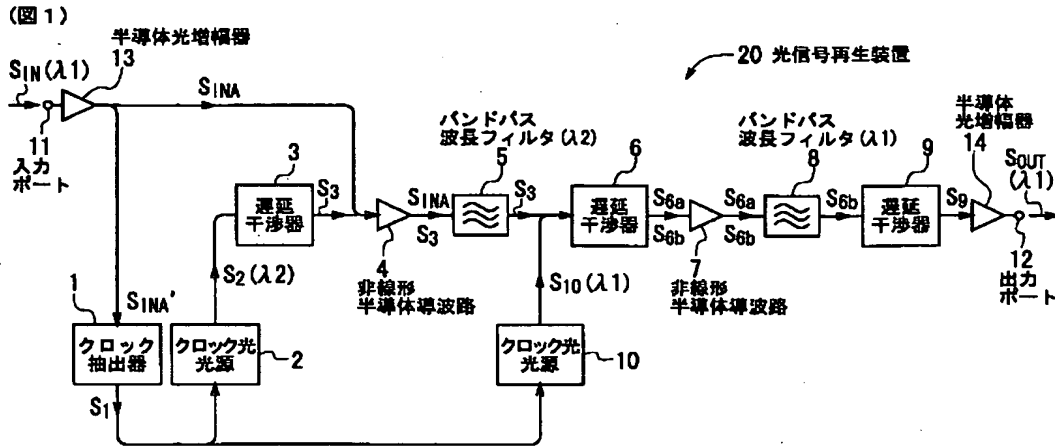


53 第1半導体光増幅器

60 光信号再生装置

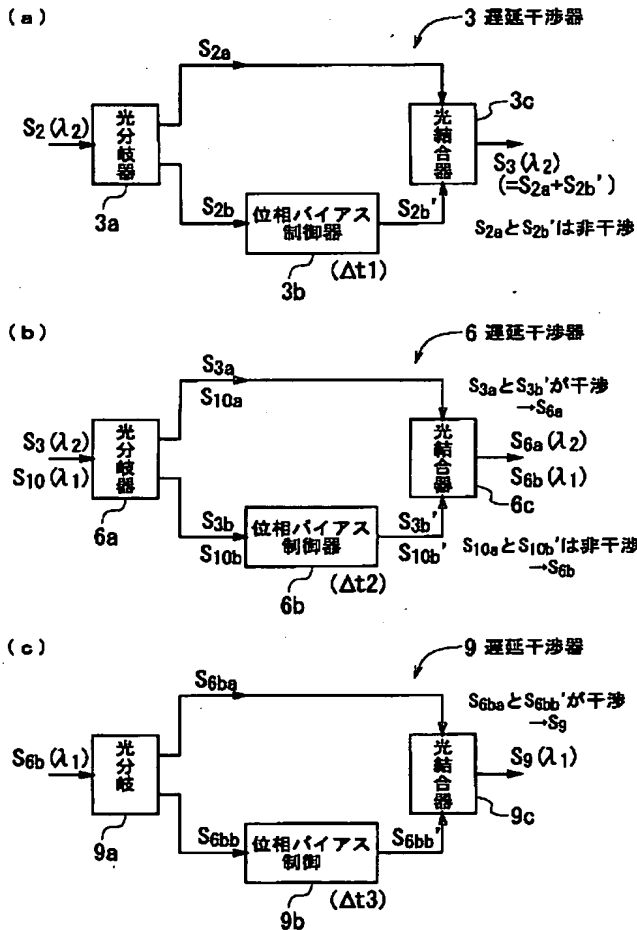
54 第1半導体光増幅器

【図1】



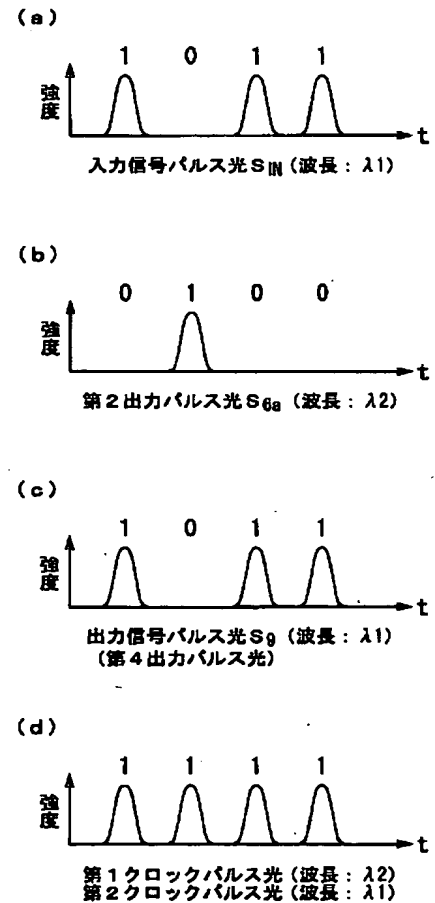
【図2】

(図2)



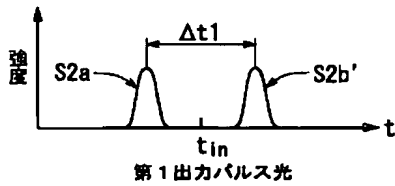
【図3】

(図3)



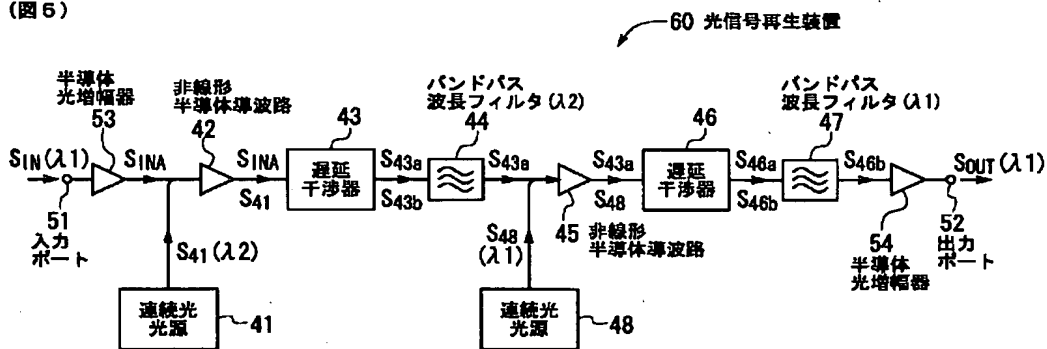
【図 4】

(図 4)



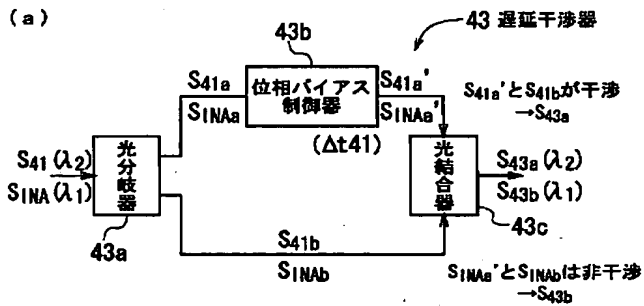
【図 5】

(図 5)

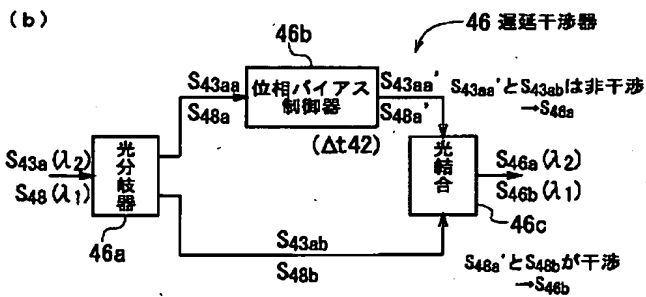


【図 6】

(図 6)

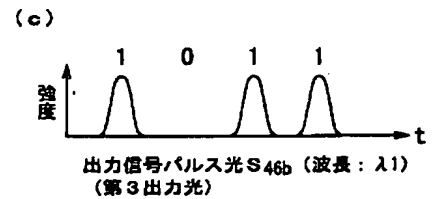
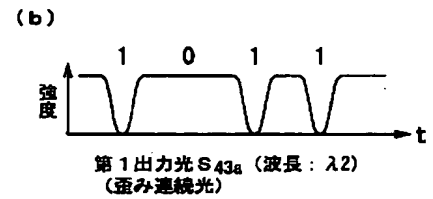
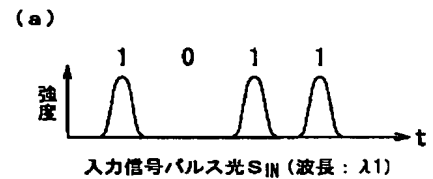


(b)



【図 7】

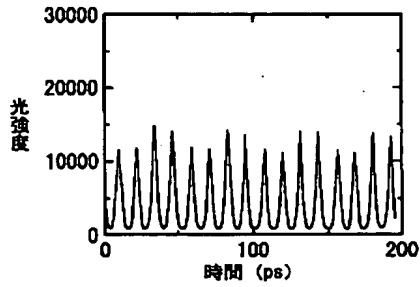
(図 7)



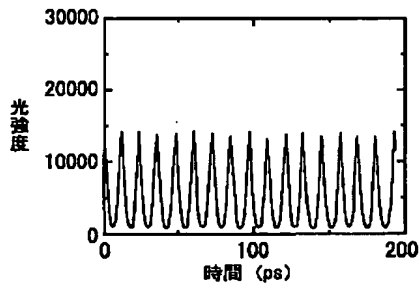
【図 8】

(図 8)

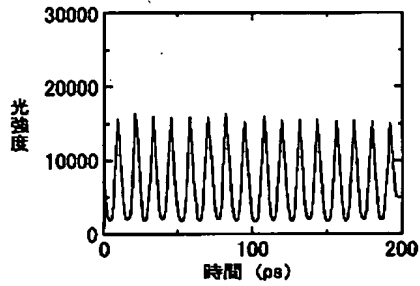
(a)



(b)

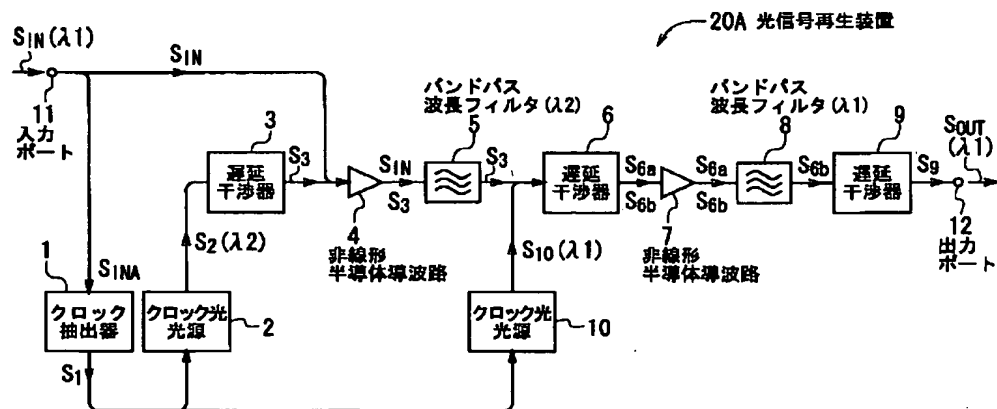


(c)



【図 9】

(図 9)



【図 10】

(図 10)

